

Article, Published Version

Burghart, W.

Die Verteilung der Abflußmenge über den Querschnitt

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103238>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Burghart, W. (1953): Die Verteilung der Abflußmenge über den Querschnitt. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 1. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 3-9.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Die Verteilung der Abflußmenge über den Querschnitt.

Dipl.-Ing. W. Burghart.

Im wasserbaulichen Versuchswesen und auch im praktischen Wasserbau besteht häufig die Notwendigkeit, bei bekannter Gesamtabflußmenge Q , die an einem nahe gelegenen Pegel ermittelt wurde, die Verteilung der Abflußmenge über die einzelnen Querschnittsteile festzustellen, z.B. um die Leistungsfähigkeit von Vorländern zu ermitteln, die Wirkung von Einbauten im voraus besser beurteilen zu können oder die erforderliche Wassermenge für ein Modell zu bestimmen, das nur einen Teil des Gesamtquerschnittes darstellt. Für einen groben Ueberblick wird manchmal das Verhältnis Abflußmenge Q zu Querschnittsbreite b gebildet und so die spezifische Abflußmenge pro Meter Querschnittsbreite ermittelt. Diese Methode liefert unrichtige Ergebnisse, da weder die wechselnden Tiefen, noch die meist gleichsinnig wechselnden Geschwindigkeiten berücksichtigt werden. Die exakte Lösung der Aufgabe ist mittels Aufstellung eines Isotachenplanes möglich, was jedoch eine recht umfangreiche Meßarbeit erfordert. Außerdem sind Stellen mit geringer Wassertiefe für Meßschiff bzw. Meßfloß schwer zugänglich, auch macht sich bei geringer Wassertiefe zum Teil eine Störung durch das Meßfloß bemerkbar, das eine Änderung der Geschwindigkeit gerade in dem Bereich verursachen kann, in dem sie gemessen werden soll. Diese Schwierigkeiten treten besonders im wasserbaulichen Versuchswesen auf, wo die Wassertiefen meist nur wenige Zentimeter betragen. Bei Modellversuchen wird daher oft ein Näherungsverfahren angewandt, das sich dort gut bewährt hat und auch für die Natur brauchbare Ergebnisse liefert. Das Verfahren geht von der Verteilung der Oberflächengeschwindigkeit über den Querschnitt aus, die durch einfache Schwimmermessungen ermittelt wird. Ferner muß noch das Querprofil bekannt sein, aus dem die Wassertiefen entnommen werden können. Damit kann die Verteilung der Abflußmenge Q über den Querschnitt ermittelt werden, wie in Abb. 1 gezeigt wird. Die Auswertung der Integrale erfolgt dabei

zweckmäßig durch Ausplanimetrieren der betreffenden Flächen. Das Verfahren geht von der Annahme aus: $\alpha = v_m : v_o = \text{konst.}$ über die ganze Querschnittsbreite. Diese Annahme kann bei extremen Querschnittsformen (sehr breite und wenig überströmte Vorländer) gewisse Abweichungen von den tatsächlichen Werten ergeben. Auf Grund verschiedener Vergleichsauswertungen, wie sie z.B. Abb. 3, 4 und 5 zeigen, kann jedoch gesagt werden, daß die Abweichungen im Mittel in der Größenordnung von 5% liegen, die Ergebnisse also durchaus eine für die meisten Fälle genügende Genauigkeit besitzen.

An dieser Stelle soll auch noch ein weiteres Näherungsverfahren gezeigt werden, das aus der Querschnittsform allein, d.h. aus den jeweiligen Wassertiefen, auf die Verteilung der Abflußmenge über den Querschnitt schließen läßt. Das Verfahren geht von der Ueberlegung aus, daß Tiefe und Geschwindigkeit sich meist gleichsinnig ändern, im Querschnitt sich also an Stellen großer Geschwindigkeit auch große Tiefen ausbilden. Es benutzt ferner Gedankengänge von van Rinsum ¹⁾ in vereinfachter Form. Seine Grundlagen sind in Abb. 2 zusammengestellt. Das Verfahren hat den Vorteil, daß es die wenigsten Unterlagen erfordert, allerdings ist auch seine Genauigkeit geringer. Im allgemeinen dürften die Fehler jedoch auch hierbei 10% nicht übersteigen (vgl. Abb. 3, 4 und 5). Vorbedingung für die Anwendbarkeit ist die volle Durchströmung des Querschnittes, also das Fehlen von Totwasser- bzw. Walzenräumen. Ferner können auch in Krümmungen größere Fehler auftreten, da dort durch die veränderte Geschwindigkeitsverteilung und vor allem infolge der Spiralströmung Tiefe und Geschwindigkeit sich meist nicht mehr gleichsinnig ändern.

Zum Schluß sollen an Hand von 3 Vergleichsauswertungen die Ergebnisse nach den erwähnten Methoden gezeigt werden. Abb. 3 zeigt den Querschnitt Rhein-km 741,5 (Düsseldorf-Heerd). Für eine Wasserführung von $Q = 2395 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= MQ$) sind die Anteile von 7 Querschnittsstreifen an der Gesamtabflußmenge zahlenmäßig angegeben.

1) van Rinsum, Dr.-Ing.: Der Abfluß in offenen natürlichen Wasserläufen. Verlag von Wilh. Ernst u. Sohn, Berlin 1950

Dabei entsprechen die Streifen der Tabelle den jeweils darüberliegenden Querschnittsstreifen. Die Breite der Streifen I - VI beträgt je 12,5%, die des Streifens VII 25% der Gesamtbreite. Das Ergebnis zeigt, daß die Abweichungen verhältnismäßig gering sind. So beträgt der mittlere Fehler

$$f_1 = \frac{1}{7} \sum_{I}^{VII} \frac{\Delta^1}{A}$$

der nach der Oberflächengeschwindigkeit ermittelten Werte 4,5%,
der mittlere Fehler

$$f_2 = \frac{1}{7} \sum_{I}^{VII} \frac{\Delta^2}{A}$$

der nach der Tiefe ermittelten Werte 7,8%. Das Beispiel läßt auch erkennen, welche Abweichungen auftreten, wenn man die spezifische Abflußmenge pro Meter Querschnittsbreite aus $\frac{Q}{b}$ bestimmt. Der so ermittelte Anteil des 25% der Gesamtbreite umfassenden Streifens VII an der Gesamtabflußmenge beträgt z.B. 25%, während er tatsächlich nur 2,55% beträgt.

Als weiteres Beispiel zeig Abb. 4 den Querschnitt Rhein-km 844,5. Für diesen Querschnitt sind die spezifischen Abflußmengen als Kurvenzüge über dem Wasserspiegel aufgetragen. Die Differenzen zwischen den Kurvenzügen $v_m \cdot t$, $\alpha \cdot v_o \cdot t$ und $\alpha_t \cdot t^{3/2}$ stellen also direkt die Abweichungen zwischen den Ergebnissen nach den einzelnen Methoden dar. Der gewählte Querschnitt liegt in einer Linkskrümung zwischen Bogenanfang und Bogenscheitel, wo nach der Theorie am inneren (hier also linken) Ufer Beschleunigungsstrecke ist. Dies kommt auch im Isotachenplan deutlich zum Ausdruck. Die Tiefen sind jedoch ausgeglichen, da ja am inneren Ufer normalerweise Geschiebeanlandungen auftreten. Demzufolge weichen die nach der Tiefe ermittelten Werte in diesem Fall stärker von den tatsächlichen Werten ab. Diese Abweichungen betragen in der 4. und 5. Lotrechten von links etwa 15% und sind auch damit immerhin nur halb so groß wie die Abweichungen der waagrechten Ausgleichslinie $\frac{Q}{b}$ an der gleichen Stelle. Die nach der Oberflächengeschwindigkeit ermittelten Werte stimmen auch hier gut mit den tatsächlichen Wer-

ten überein; ihr mittlerer Fehler beträgt 3%.

Als letztes Beispiel ist der Querschnitt eines Flusses mit extrem großem Verhältnis Breite zu Tiefe ($\sim 200:1$) und gleichzeitig stark unregelmäßiger Geschwindigkeitsverteilung und unregelmäßigem Querschnitt gewählt worden (vgl. Abb. 5). Auch bei diesem Beispiel sind wie im vorhergehenden Fall die spezifischen Abflusssmengen als Kurvenzüge aufgetragen und untereinander direkt vergleichbar. Bei der vorhandenen Unregelmäßigkeit wechselt das Verhältnis $\alpha = v_m : v_o$ stark. Trotzdem sind die Ergebnisse, die auf einem konstanten mittleren Wert α aufgebaut sind, noch im Mittel bis auf 10% genau. Die nach der Tiefe ermittelten Werte weichen in diesem Fall etwa um 30% von den tatsächlichen Werten ab, stellen also selbst bei derartig ungünstigen Verhältnissen noch einigermaßen brauchbare Werte dar.

Abschließend kann gesagt werden, daß die gezeigten Näherungsverfahren durchaus brauchbare Ergebnisse liefern, die Grenzen ihrer Anwendbarkeit gehen aus den oben erwähnten Annahmen von selbst hervor. Die Fehler der nach der Tiefe ermittelten Werte sind dabei normalerweise etwa doppelt so groß wie bei einer Ermittlung nach der Oberflächengeschwindigkeit.

Ermittlung der Abflußmengenverteilung im Querschnitt nach der Oberflächengeschwindigkeit v_0

Abb. 1

Teilabflußmenge dQ im schmalen lotrechten Streifen der Breite db

$$dQ = v \cdot dF$$

$$= \bar{v}_m \cdot t db, \quad \bar{v}_m = \text{mittl. Geschw. der Lotrechten}$$

$$v_0 = \text{Oberflächengeschw. der Lotrechten}$$

$$\bar{v}_m = \alpha \cdot v_0$$

$$dQ = \alpha \cdot v_0 \cdot t db$$

Gesamtabflußmenge Q

$$Q = \int_{b=0}^{b=b} \alpha \cdot v_0 \cdot t db$$

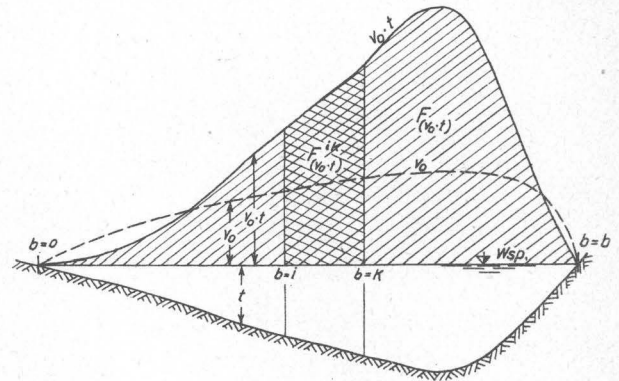
Annahme: $\alpha = \text{const.}$ über den ganzen Querschnitt

$$Q = \alpha \int_{b=0}^{b=b} v_0 \cdot t db$$

$$\boxed{\alpha = \frac{Q}{\int_{b=0}^{b=b} v_0 \cdot t db} = \frac{Q}{F_{(v_0 \cdot t)}}}$$

Teilabflußmenge im Streifen mit den Grenzen $b=i$ und $b=k$

$$\boxed{Q \Big|_{b=i}^{b=k} = \alpha \int_{b=i}^{b=k} v_0 \cdot t db = \frac{Q}{\int_{b=0}^{b=b} v_0 \cdot t db} \cdot \int_{b=i}^{b=k} v_0 \cdot t db = \frac{Q}{F_{(v_0 \cdot t)}} \cdot F_{(v_0 \cdot t)}^{ik}}$$



$$\boxed{F_{(v_0 \cdot t)} = \int_{b=0}^{b=b} v_0 \cdot t db}$$

$$\boxed{F_{(v_0 \cdot t)}^{ik} = \int_{b=i}^{b=k} v_0 \cdot t db}$$

Ermittlung der Abflußmengenverteilung im Querschnitt nach der jeweiligen Wassertiefe t

Abb. 2

Chezy : $v_m = c \cdot \sqrt{R \cdot J}$ (mittl. Geschw. im Querschnitt)

$$\approx c \cdot \sqrt{t \cdot J}$$

van Rinsum : $\bar{v}_m = K \cdot \sqrt{t \cdot J}$ (mittl. Geschw. der Lotrechten)

Teilabflußmenge dQ im schmalen lotrechten Streifen der Breite db

$$dQ = v \cdot dF$$

$$= \bar{v}_m \cdot t db$$

$$= K \cdot \sqrt{J} \cdot t^{3/2} db$$

Gesamtabflußmenge Q

$$Q = \int_{b=0}^{b=b} K \cdot \sqrt{J} \cdot t^{3/2} db$$

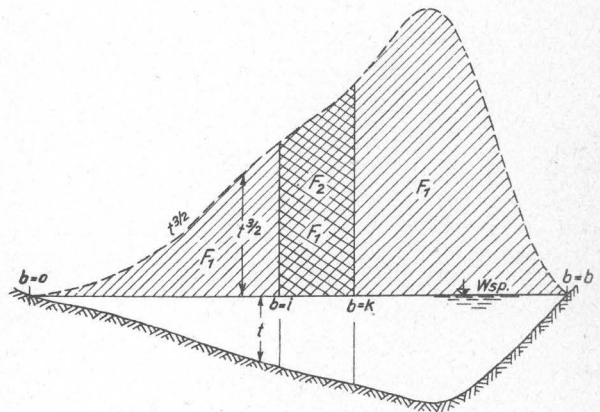
vereinfachte Annahme : $K \cdot \sqrt{J} = \text{const.}$ über den ganzen Querschnitt

$$Q = K \cdot \sqrt{J} \int_{b=0}^{b=b} t^{3/2} db, \quad \text{mit } K \cdot \sqrt{J} = \alpha_t \rightarrow Q = \alpha_t \int_{b=0}^{b=b} t^{3/2} db$$

$$\boxed{\alpha_t = \frac{Q}{\int_{b=0}^{b=b} t^{3/2} db} = \frac{Q}{F_t}}$$

Teilabflußmenge im Streifen mit den Grenzen $b=i$ und $b=k$

$$\boxed{Q \Big|_{b=i}^{b=k} = \alpha_t \int_{b=i}^{b=k} t^{3/2} db = \frac{Q}{\int_{b=0}^{b=b} t^{3/2} db} \cdot \int_{b=i}^{b=k} t^{3/2} db = \frac{Q}{F_t} \cdot F_t^2}$$

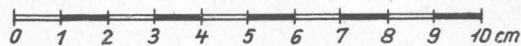
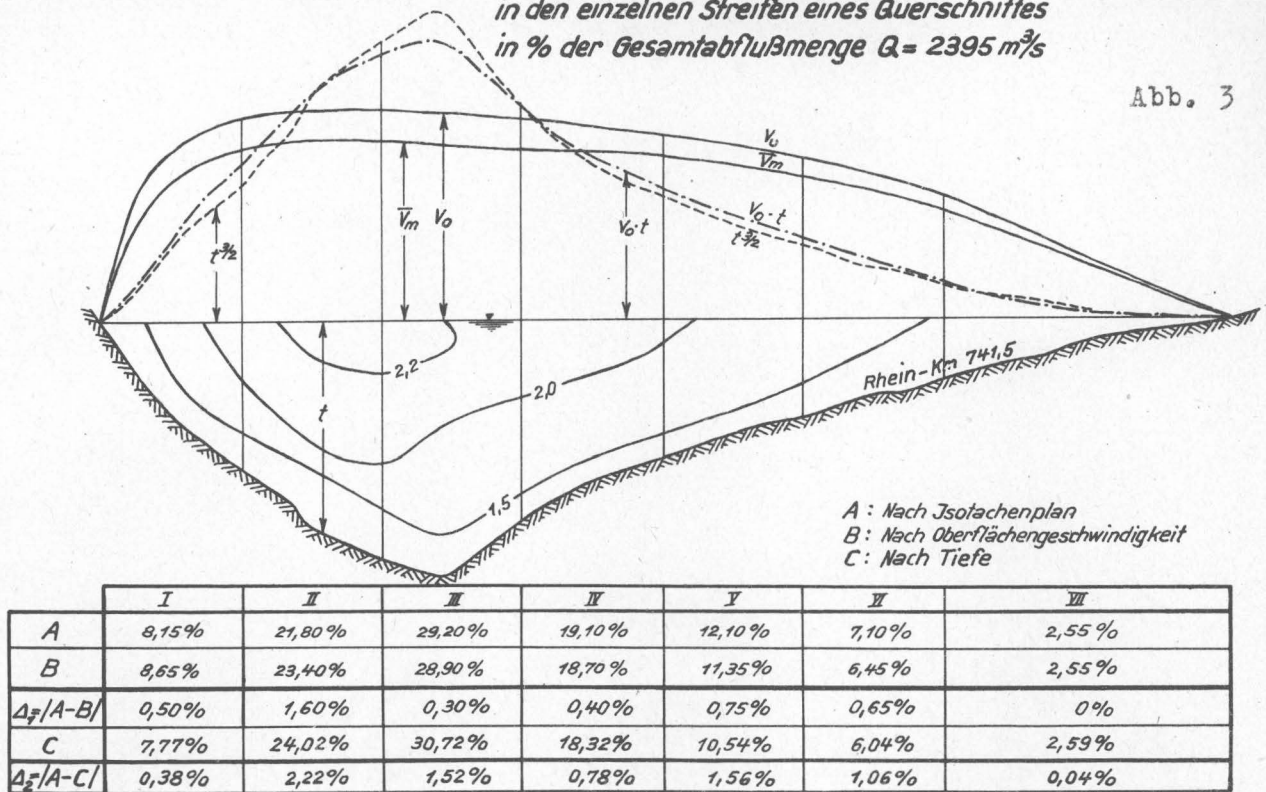


$$\boxed{F_t = \int_{b=0}^{b=b} t^{3/2} db}$$

$$\boxed{F_t^2 = \int_{b=i}^{b=k} t^{3/2} db}$$

Ermittlung der Teilabflußmengen
in den einzelnen Streifen eines Querschnittes
in % der Gesamtabflußmenge $Q = 2395 \text{ m}^3/\text{s}$

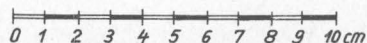
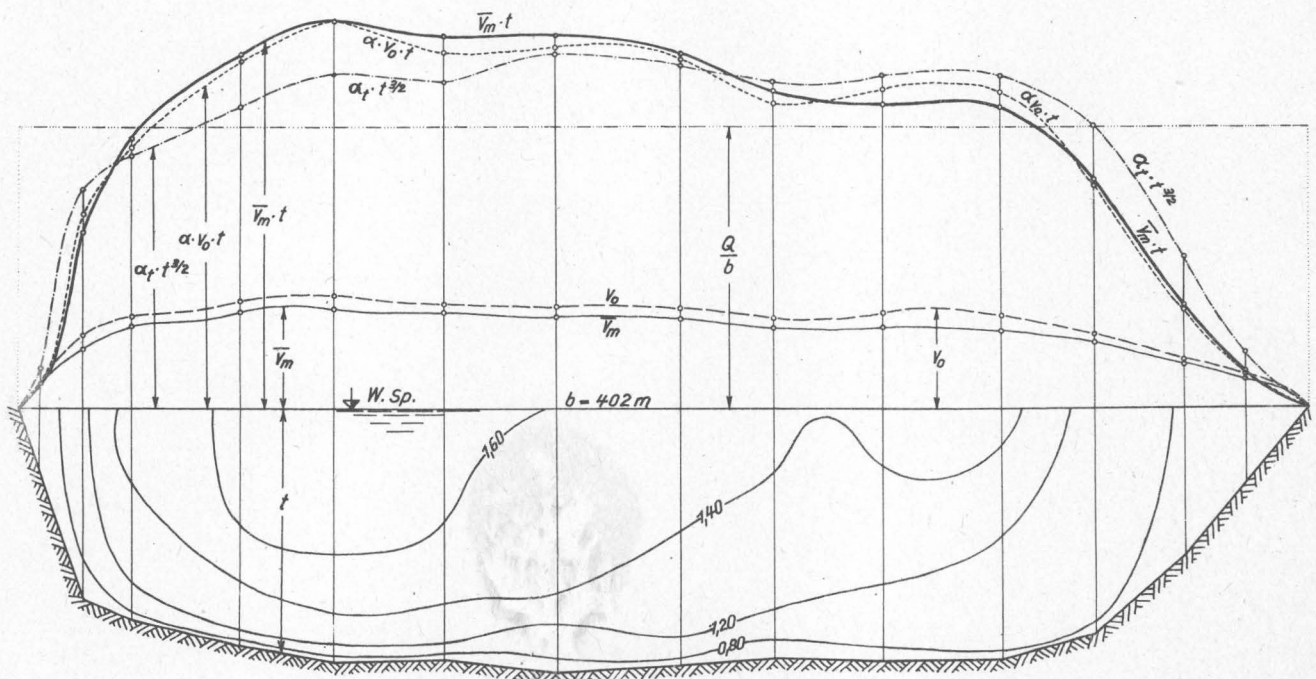
Abb. 3



Maßstäbe : Längen = 1:1000; Höhen = 1:250
Geschwindigkeiten : 1cm $\hat{=}$ 0,5 m/s
Kurve $V_0 \cdot t \hat{=}$ 1cm $\hat{=}$ 5,0 m²/s
Kurve $t^{3/2} \hat{=}$ 1cm $\hat{=}$ 7,5 m^{3/2}

Ermittlung der Abflußmengenverteilung
nach verschiedenen Methoden
für den Querschnitt Rhein-Km 844,5
bei einer Abflußmenge $Q = 3520 \text{ m}^3/\text{s}$

Abb. 4



Maßstäbe : Längen = 1:1000; Höhen = 1:100
Geschwindigkeiten : 1cm $\hat{=}$ 0,5 m/s
Wassermengen : 1cm² $\hat{=}$ 10 m³/s

*Ermittlung der Abflußmengenverteilung
nach verschiedenen Methoden
für einen Querschnitt mit $v_m = 0,28 \text{ m/s}$ und $Q = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$*

